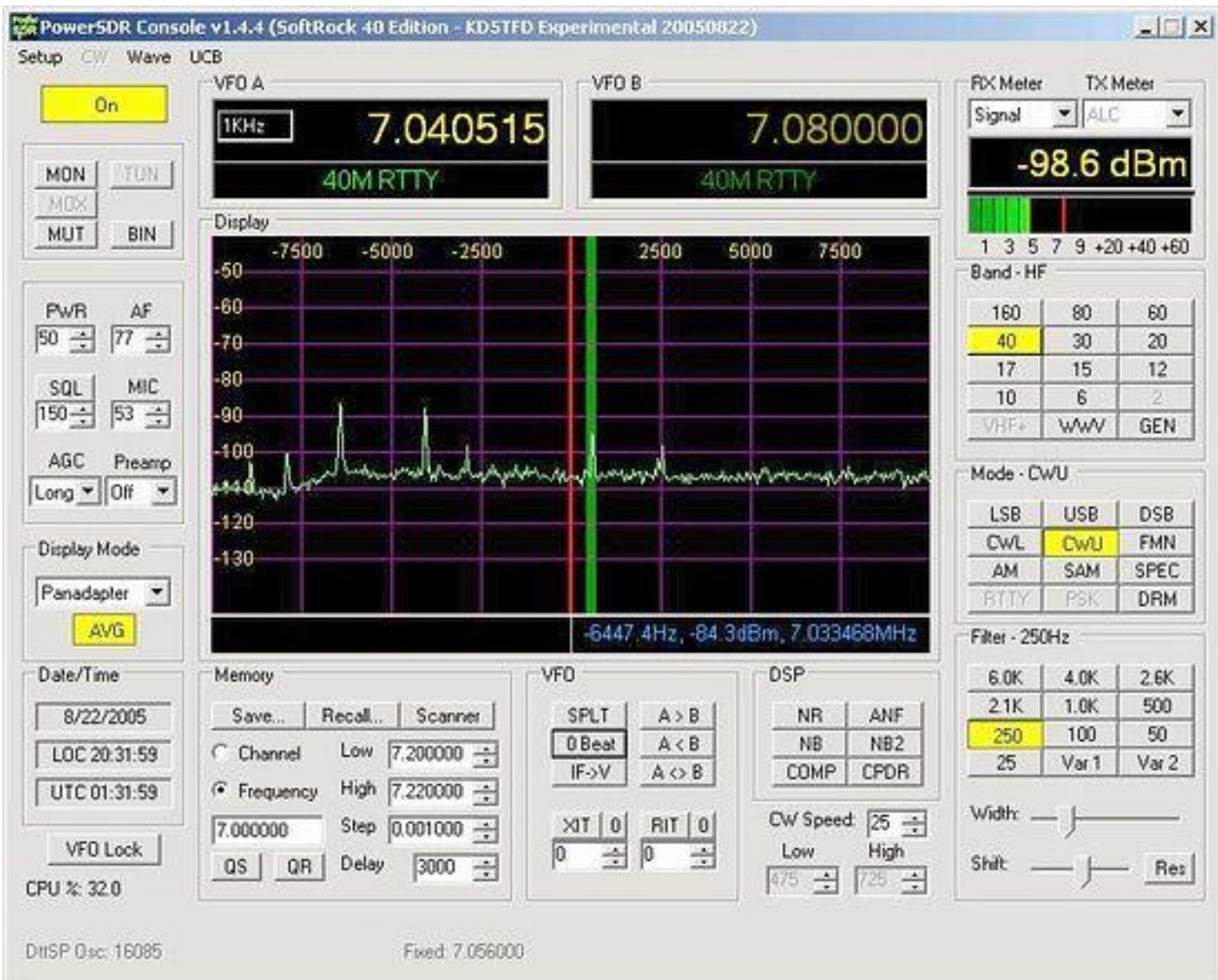


Que es el “SDR”

LA RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)

XE1GVJ Julián García

“Boletín Tecnológico AREJ” No 109



- **LA RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE (SDR)**

- Tradicionalmente los equipos receptores y transceptores de radiocomunicaciones son equipos constituidos por multitud de componentes electrónicos, los cuales forman circuitos sintonizadores, etapas de frecuencia intermedia, detectores, amplificadores de baja frecuencia, etc..., es decir, están constituidos por "hardware". Posteriormente, en los años 1980's y 1990's se introdujeron microprocesadores en estos equipos para el control de funciones internas (controles desde teclados y pulsadores) y para añadir nuevas prestaciones (relojes, pantallas informativas, programadores, etc...), y también se introdujo la posibilidad de controlar los equipos de radio desde un ordenador, añadiendo al equipo de radio puertos de comunicación o interfaces para la conexión al ordenador.

- En estos casos, y usando el software adecuado, es posible controlar desde el ordenador numerosas funciones del equipo de radio, igual o mejor que desde los controles del propio equipo. También en la década de los 1990's comenzó la introducción en los modernos equipos de radio de los chips DSP o "Procesadores Digitales de Señal", los cuales permiten mediante técnicas digitales realizar filtros de paso de banda y de supresión de ruidos, entre otras posibilidades, muy eficaces, mejor que los realizados tradicionalmente con circuitos analógicos.

- En cualquier caso, siempre se trata de equipos de radio realizados enteramente con componentes electrónicos, o sea, en términos informáticos se definirían como "radios hardware". Pero desde principios de la década del 2000 radioaficionados como Gerald Youngblood, AC5OG, están investigando y desarrollando un nuevo concepto de equipos de radiocomunicaciones, los equipos de radio desarrollados por programa o "radios software", en siglas SDR (Software Defined Radio), en los que la parte hardware (circuitería) es mínima, y la mayor parte de las funciones que definen un equipo de radio se definen por software (programas) en un ordenador PC o de otro tipo, dotado de tarjeta de sonido (requisito necesario).



- ***LO QUE SDR NO ES***

- La SDR supone realizar la mayor parte de las funciones de un equipo de radio, incluso las más importantes, mediante el software implementado en un ordenador. Por tanto, y antes de profundizar más en lo que es una SDR, se puede explicar de qué no se trata.

En primer lugar hay que decir que hay una enorme diferencia entre una radio definida por programas (SDR) y otra controlada por programas.

- Casi todos los equipos de radio modernos dotados de interfaces informáticos son equipos que tienen la opción de ser controlados por ordenador, permitiendo que desde éste último se gobiernen y visualicen parte o todas las funciones y parámetros que normalmente están presentes en el frontal del equipo: frecuencia, elección de modo de operación (AM, FM, CW, SSB...), control automático de ganancia (CAG), etcétera. Incluso hay equipos de radiocomunicaciones que ni siquiera tienen un panel frontal de mandos e indicadores, siendo controlados totalmente desde el ordenador, el cual realiza todas las funciones del panel de mando del equipo.

- Tampoco las SDR se refiere al uso de las sofisticadas técnicas de procesamiento digital de señal, mediante la introducción de chips DSP, implementadas a nivel de las etapas de audio, para mejorar la inteligibilidad y calidad de las señales. Las técnicas DSP permiten realizar filtros de audio mediante técnicas digitales que son mucho más efectivos que los tradicionalmente realizados con componentes electrónicos analógicos, e incluso se puede programar sus características por software.

- Y aunque las técnicas DSP se usan principalmente a nivel de las etapas de audio de los equipos de radiocomunicaciones, procesando digitalmente las señales de audio, también hay equipos de radio que introducen el procesamiento digital de señales DSP a nivel de frecuencia intermedia, aunque en estos casos siempre se hace sobre una última frecuencia intermedia de valor muy bajo, sobre los 40 KHz, lo que permite manejarla casi como una señal de audio, y por tanto al alcance de los chips DSP más comunes



- Dichas técnicas comenzaron a ser introducidas en la década de los 90's para funciones eficaces de filtrado y de reducción de ruido en las etapas de audio, y actualmente se usan también para las etapas de FI de los receptores de radio más modernos, con mejores prestaciones que las clásicas etapas de FI de filtros resonantes sintonizados a la FI. Pero en cualquier caso, tanto unos como otros no dejan de ser al fin y al cabo equipos de radio convencionales, a pesar de los "añadidos avanzados" que estas técnicas puedan introducir.
- Una radio software (SDR), en cambio, tiene casi todos sus "componentes" definidos y funcionando en forma de programas en un ordenador, a excepción de un mínimo de componentes físicos necesarios, externos al ordenador, que no pueden ser definidos por software en el ordenador. Y mientras no sea activado ese software o conjunto de programas, el equipo de radio no será tal, sino que será un simple conjunto de unas cuantas placas electrónicas externas, incapaces de hacer nada práctico.

- . Es el software que se haga funcionar en el ordenador el que define el esquema de modulación a emplear (AM, FM, SSB...), el tipo de silenciador (squelch), cómo actúa el CAG, y, en fin, todo el equipo de radio.

Además una radio SDR es muy flexible, ya que modificando o reemplazando sus programas de software, o añadiendo nuevos programas, se consigue modificar sus funcionalidades, como es añadir nuevos modos o mejorar sus prestaciones. Ello permite también acomodar el SDR a las necesidades de cada tipo de usuario (radioaficionados, servicios de emergencias, etc...). La SDR es algo novedoso y representa un concepto que puede no ser fácil de asimilar. Para entenderlo se explicará a continuación, aunque describiendo el proceso de recepción, ya que el de transmisión es muy similar aunque a la inversa.

20m
SDR4
SDR4



Crows County Wireless Ltd
Bath, England, BA1 5GB
Tel: +44 (0)1224 410826
e: info@crowswireless.co.uk

SDR-4 HF receiver



- **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECEPTOR SDR**

- Gerald, [AC5OG](#), ha diseñado una etapa frontal de radiofrecuencia (RF) cuya función es convertir la señal de radio recibida, trasladándola a frecuencias muy inferiores, en la banda de audio. Esta etapa es un detector un tanto especial de conversión directa (es decir, de frecuencia intermedia cero), a la cual se le ha añadido unos filtros de banda seleccionables en el paso de antena.

Con esta etapa frontal, la señal de radiofrecuencia es bajada al rango de las frecuencias de audio, pero sigue siendo una señal sin demodular. El siguiente paso es demodular la señal, y para ello se hace uso de un ordenador con tarjeta de sonido y el programa adecuado. Esto es lo que se muestra en el diagrama de la FIGURA 1.

- No debe confundirse esta conversión directa con el proceso de demodulación que permite extraer la señal de voz (moduladora) de la señal de RF, pues ello es lo que se hace en el ordenador con el programa adecuado. La etapa de conversión directa lo que hace es trasladar las señales de RF a otras frecuencias muy inferiores, pero aunque las señales obtenidas en la conversión son señales en el rango de las frecuencias de audio, no significa que sean señales ya demoduladas (aunque para varios tipos de modulación, sí lo serán).



- Dicha señal ya desplazada a la banda de audio (todavía sin demodular) ocupa un margen de frecuencias que entra dentro del margen que acepta en sus entradas analógicas la tarjeta de sonido. Dependiendo de la tarjeta empleada, una tarjeta de sonido puede aceptar señales de hasta 20 a 40 kHz.
- La tarjeta de sonido incluye unos conversores analógico-digital (A/D) que digitalizan las señales presentes en las entradas de la tarjeta, generando un flujo continuo de bits que representan digitalmente las señales analógicas de entrada. A este respecto, se puede decir que el conversor A/D está conectado casi directamente a la antena. La tarjeta de sonido además proporciona todas las funcionalidades DSP (procesamiento digital de señales) que van a ser necesarias para manejar la señal entrante ya digitalizada.

- En la digitalización de las señales de entrada, se transforman las señales analógicas de entrada, que son "continuas en el tiempo" (y con un número de valores de amplitud teóricamente infinitos), en una secuencia de señales "discretas en el tiempo", esto es, que se presentan a intervalos de tiempo determinados, y que se denominan "MUESTRAS".
- Una vez digitalizadas estas muestras de la señal analógica (transformando cada muestra en un número fijo de bits), las señales eléctricas que las componen (los bits) tendrán un número de valores posibles de amplitud fijo y determinado, dos en el caso de las señales digitales binarias (denominados "0" y "1" lógicos).

El proceso por el que las señales analógicas de entrada se transforman en señales discretas en el tiempo se denomina "MUESTREO".

- ". A este respecto, en 1933 Harry Nyquist estableció que cuando se digitalizan señales analógicas, para que posteriormente se pueda recuperar la señal analógica original mediante el proceso inverso (Conversión Digital-Analógica), la señal analógica debe ser muestreada a una velocidad como mínimo igual al doble de la frecuencia más alta presente en la señal analógica. La frecuencia máxima de la señal analógica de entrada es recomendable que sea limitada mediante el empleo de un filtro de pasobanda, denominado "Antialiasing". Ello evita el efecto de "ALIASING", por el cual, al recuperar por el proceso inverso la señal analógica original, ésta puede aparecer distorsionada. El aliasing aparece cuando la señal analógica de entrada tiene componentes cuyas frecuencias son superiores a la mitad del valor de la frecuencia de muestreo.

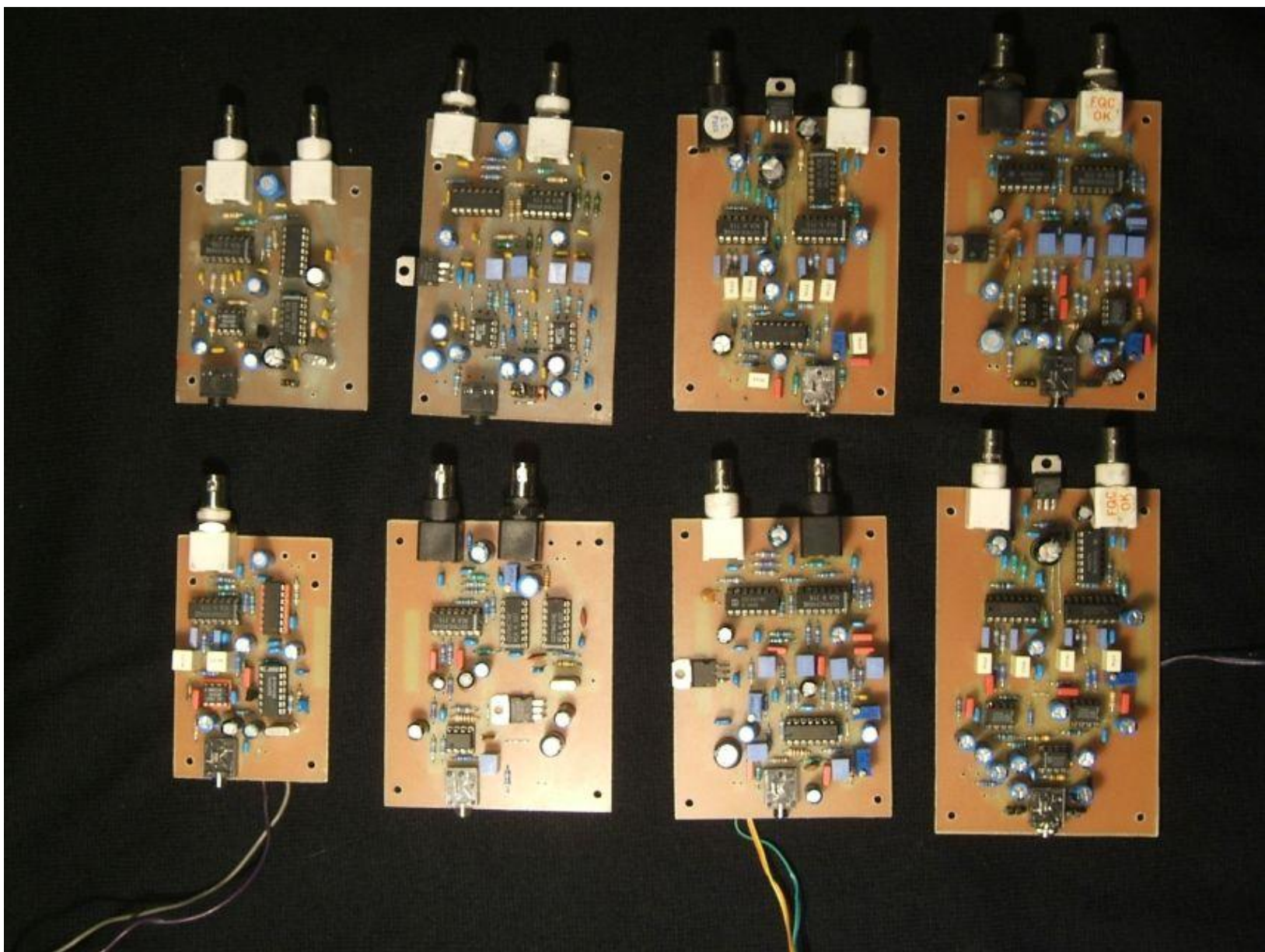


- Así, por ejemplo, el oído humano puede llegar a percibir frecuencias en el rango de 20 Hz a 20 KHz, y por ello la digitalización de las señales de audio de alta fidelidad requiere que sean muestreadas al menos a 40 KHz (40.000 muestras por segundo). De hecho, en el caso de los CD's de audio el muestreo empleado es de 44.100 KHz (lo cual previene también el aliasing). Esta velocidad de muestreo la soporta actualmente también cualquier tarjeta de sonido para sus conversores A/D. Además, muchas tarjetas de sonido incluyen un filtro antialiasing interno con una frecuencia de corte próxima a los 20 KHz.

Una vez la señal ha sido muestreada y digitalizada por la tarjeta de sonido, podemos procesarla como queramos, por ejemplo demodulándola: en modulación de amplitud (AM) se haría detectando la amplitud de la envolvente de la señal, en modulación de frecuencia (FM) habría que seguir las variaciones de frecuencia de la señal... Todos estos procesos se realizan mediante cálculos matemáticos adecuados por software, pues al fin y al cabo las señales digitales son señales discretas que representan valores numéricos y por tanto (éstos) se pueden tratar matemáticamente con el software adecuado para realizar algo.

- Los resultados numéricos de estos tratamientos matemáticos son también representados por señales digitales, las cuales se llevan internamente a unos conversores Digital-analógicos (D/A) implementados en la propia tarjeta de sonido, para convertirlas a señales de audio equivalentes, que son amplificadas y conducidas a las salidas de altavoz de la tarjeta de sonido (caso de las modulaciones de fonía), o que son procesadas para mostrar la información en la pantalla del ordenador (caso de los modos digitales).

Uno de los posibles procesos de la señal de audio digitalizada es su demodulación, y éste es un proceso relativamente simple que incluye procesos de filtrado, desplazamiento de nivel y algunas otras operaciones que se pueden realizar sin muchos problemas por software. Cualquier proceso al que queramos someter la señal de audio digitalizada se puede hacer por software, usando el programa adecuado en el ordenador, y usando la tarjeta de sonido como digitalizador de la señal analógica de audio.

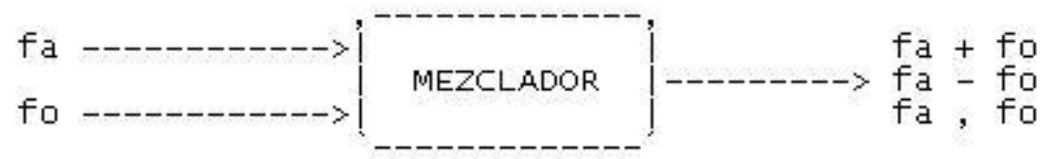


- **CONVERSION DE FRECUENCIA**

- Las tarjetas de sonido son capaces de operar con señales de audio analógico de hasta unos 20 kHz como mínimo (hasta 40 KHz y más, si la tarjeta es de calidad), y la queremos emplear para procesar señales de RF de varios MHz de frecuencia, recibidas en la antena. Dado que la tarjeta de sonido no puede manejar frecuencias tan elevadas, es necesario convertir las señales de RF a señales de frecuencias muy inferiores, en el rango de frecuencias que puede aceptar la tarjeta de sonido (es decir, en el rango de las bajas frecuencias), manteniendo éstas el mismo esquema de modulación de las señales de RF.

El sistema más habitual para convertir una señal de una banda de frecuencias a otra es mediante el uso de un MEZCLADOR, el cual combina dos señales, la que recibimos en antena, con la procedente de un oscilador local, la cual será una señal pura sin modular. Esto es típico en los receptores superheterodinos para convertir la señal recibida a frecuencia intermedia.

- En la salida del mezclador tendremos señales cuyas frecuencias serán la suma y la resta de las frecuencias aplicadas en ambas entradas del mezclador, la de la señal de antena, f_a , y la generada en el oscilador local, f_o . Además siempre aparece algo de estas dos señales a la salida del mezclador.



- Un ejemplo: si recibimos una señal modulada de 28 MHz (no importa cuál sea el tipo de modulación) y la mezclamos con la señal pura de 20 MHz suministrada por un oscilador local, en la salida del mezclador obtendremos varias "versiones" de la señal recibida, una centrada en 8 MHz ($28-20$), y otra en 48 MHz ($28+20$), y también se tendrá algo de las señales originales de 28 y 20 MHz. Al decir que estas señales resultantes de la mezcla son "versiones" de la original significa que mantienen la misma modulación que la señal original (la de 28 MHz), sóloamente difiere la frecuencia, que es diferente a la de la señal original (ha habido un cambio de frecuencia, sin modificar el esquema de modulación).

- Un ejemplo: si recibimos una señal modulada de 28 MHz (no importa cuál sea el tipo de modulación) y la mezclamos con la señal pura de 20 MHz suministrada por un oscilador local, en la salida del mezclador obtendremos varias "versiones" de la señal recibida, una centrada en 8 MHz ($28-20$), y otra en 48 MHz ($28+20$), y también se tendrá algo de las señales originales de 28 y 20 MHz. Al decir que estas señales resultantes de la mezcla son "versiones" de la original significa que mantienen la misma modulación que la señal original (la de 28 MHz), sólomente difiere la frecuencia, que es diferente a la de la señal original (ha habido un cambio de frecuencia, sin modificar el esquema de modulación).

En un receptor que opera por conversión de frecuencias se debe introducir un filtrado adicional a la salida del mezclador, para dejar pasar la señal que nos interese (por ejemplo, la de 8 MHz), y elimine las demás (las de 48, 28 y 20 MHz en el ejemplo). Eliminar por filtrado las señales no deseadas es fácil, pero supone una pérdida de energía respecto a la señal original, lo que perjudica el rendimiento del receptor en cuanto a la relación señal/ruido (eso es así porque la potencia de la señal de entrada útil, la de antena en este caso, se distribuye entre sus dos "versiones" cambiadas de frecuencia, además que el mezclador introducirá pérdidas adicionales en el proceso de conversión de frecuencia).

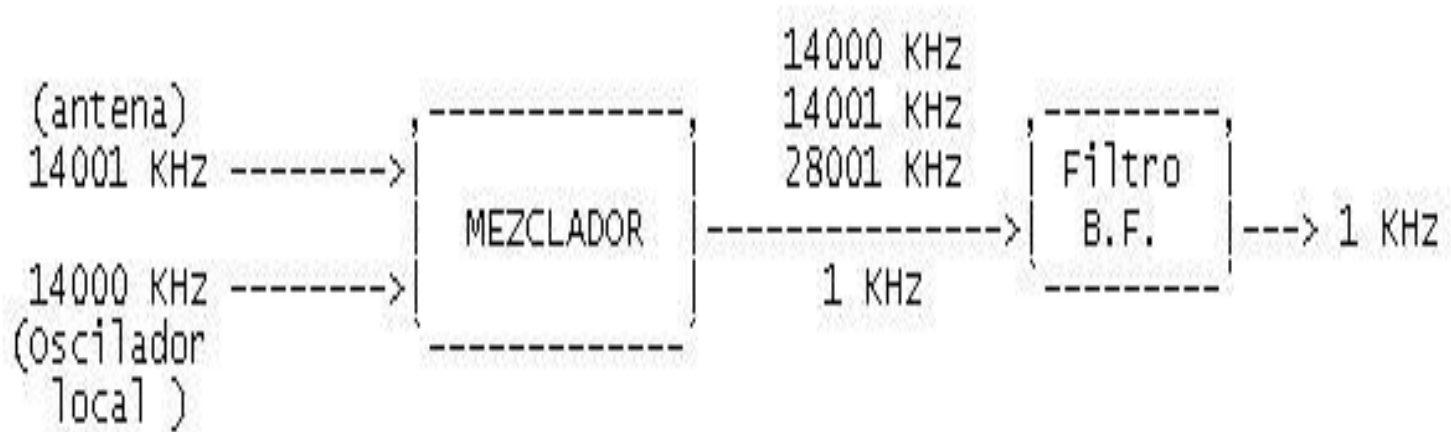
- Los receptores superheterodinos operan con este procedimiento: La señal recibida en antena es convertida a una "Frecuencia Intermedia" de un valor dado (FI) mediante el uso de un oscilador local y un mezclador, y la FI es filtrada y amplificada en una etapa de varios pasos sintonizados a la frecuencia de la FI, de manera que sólo ésta, y no las otras señales que se obtienen a la salida del mezclador, es suficientemente filtrada y amplificada antes de entregarla al demodulador.

Sin embargo hay un tipo de receptores que usan un mezclador de señales, pero no emplean ninguna FI; al contrario, convierten la señal directamente a audio, y son los llamados [RECEPTORES DE CONVERSIÓN DIRECTA](#). Estos permiten la demodulación de señales de CW (telegrafía) y de SSB por simple conversión de frecuencias. En efecto, supongamos que se tiene una señal de CW en 14.001 kHz y se emplea un oscilador local oscilando a 14.000 kHz. Si ambas señales se combinan en un mezclador, en la salida del mezclador se tendrá, entre otras señales, una señal de CW en audio, con una frecuencia de 1 kHz, señal que corresponde a la diferencia entre la señal procedente de la antena (14001 KHz) y la del oscilador local (14000 KHz). Y dado que la CW se transmite como impulsos de portadora, a la salida del mezclador se tendrán impulsos de 1 KHz, que al ser audibles (tras la correspondiente amplificación de audio) corresponderán a la señal telegráfica demodulada

- Pero en este tipo de receptores hay un problema: si hubiera otra señal transmitiéndose en 13.999 kHz, demasiado cercana en frecuencia a la de 14.001 KHz como para poderla rechazar eficazmente mediante filtrado en el paso de antena del receptor, esta señal también daría lugar a la salida del mezclador a una señal de audio de 1 KHz, e interferiría a la señal de CW de 1 KHz correspondiente a la señal transmitida en 14.001 KHz. Es lo que se llama una "FRECUENCIA IMAGEN" de la frecuencia que realmente nos interesa. Es más, incluso aunque no hubiesen señales en la frecuencia imagen de 13.999 KHz, el ruido de fondo en dicha frecuencia aparecería en la salida del receptor, empeorando la calidad de la señal útil de CW recibida.

Por otro lado, si señal a recibir en 14.001 fuera de SSB (Banda Lateral Unica), el oscilador local debería oscilar también a 14.001 KHz para conseguir demodular las bandas laterales (ya que éstas están separadas de la frecuencia central de 14.001 KHz en el valor de la frecuencia de audio moduladora), pero el receptor sería incapaz de diferenciar si la modulación empleada es USB o LSB, ni podría separar y suprimir todas las señales recibidas en el ancho de banda de la banda lateral opuesta para evitar que interfiriesen.

- La conversión directa también adolece de otros inconvenientes: El nivel de ruido en la señal demodulada tiende a aumentar por diversos factores a medida que la frecuencia de la señal demodulada se aproxima a los 0 Hz, empeorando la calidad de ésta. Contribuyen a ello ruidos de diversos orígenes: ruidos de zumbido de red eléctrica (50 o 60 Hz) inducidos, ruidos mecánicos microfónicos, el propio ruido generado por los semiconductores (que depende de $1/f$), e incluso el propio ruido de fase que incluye la señal generada por el oscilador local si éste está controlado por PLL o síntesis directa.



- **LA CONVERSIÓN DE FRECUENCIA EN UN RECEPTOR SDR**

- El simple procedimiento de conversión de frecuencia en un receptor de conversión directa no es el adecuado para un receptor SDR por los problemas anteriormente mencionados. El tipo de conversión utilizada elimina estos problemas, y se basa en el procedimiento que en los primeros días de la SSB se utilizó para conseguir la modulación de Banda Lateral Unica (BLU), eliminando en el proceso de modulación la banda lateral que no interesaba, sin el uso de los filtros a cristal de pasobanda estrecho (2,5 - 3 KHz) que se usan hoy en día para dejar pasar la banda lateral que interesa y eliminar la otra.

Dicho método consistía en usar un doble mezclador balanceado al cual se aplicaban la frecuencia del oscilador local y dos versiones de la señal recibida en antena, una en fase y otra desfasada 90 grados. Si ésta última estaba desfasada exactamente +90 grados respecto a la otra, a la salida del mezclador se obtenía la banda lateral superior, cancelando la banda lateral inferior, mientras que si estaba desfasada -90 grados, la que se cancelaba era la banda lateral superior, obteniéndose la banda lateral inferior.

Este procedimiento, empleado tanto para la modulación como para la demodulación, se denomina MEZCLA EN CUADRATURA, DETECCIÓN DE SSB POR GIRO DE FASE, o MEZCLA CON RECHAZO DE IMAGEN. La señal original (no desfasada) se denomina

- SEÑAL EN FASE, o SEÑAL I ("In phase signal"), mientras que la señal desfasada $+90$ (o -90) grados se denomina SEÑAL EN CUADRATURA, o SEÑAL Q ("Quadrature signal").

Este procedimiento fue empleado con éxito en multitud de equipos de SSB en los primeros años de este nuevo modo de modulación que supliría a la AM, hasta la aparición de los equipos de SSB con filtros de banda de cristal a principios de los años 1960's. Pero el problema de este sistema era que para que fuera realmente efectivo, las dos señales I y Q debían estar bien balanceadas en amplitud y fase, ya que incluso mínimas inexactitudes en el desfase de 90 grados de la señal Q, o en la igualdad de amplitud de las dos señales I y Q, causan que no desaparezca totalmente la banda lateral que debía suprimirse, perjudicando el rendimiento del equipo. Conseguir implementar mediante circuitos analógicos (lo que había entonces) un desplazador de fase de $+90$ grados, que fuera preciso en amplitud y en desplazamiento de fase, es bastante difícil de conseguir, nunca se conseguía una supresión elevada de la banda lateral no deseada. Alcanzar supresiones de 40 dB para la banda lateral no deseada con este procedimiento requería componentes analógicos de calidad y era bastante caro y difícil de conseguir. No obstante, de poderse conseguir desfases precisos de 90 grados, la demodulación eficaz de la SSB (y del resto de modulaciones) se vuelve fácil, y esto es mucho más fácil de conseguir digitalizando las señales I y Q. De hecho, actualmente muchos circuitos integrados de RF emplean exclusivamente las señales I y Q para realizar diversos procesos.

- De hecho los equipos SDR se basan en este principio, como se ve en la FIGURA 2, que muestra el principio de funcionamiento de un mezclador en cuadratura: La señal de RF de frecuencia f_c es llevada a dos mezcladores idénticos en paralelo. El oscilador local genera la frecuencia de mezcla, f_{lo} , que es inyectada directamente al mezclador inferior (señal "seno") para obtener la señal I a la salida del mezclador. Una parte de la señal f_{lo} pasa por un desfasador de 90 grados para obtener una señal del oscilador local desfasada 90 grados (señal "coseno") que es llevada al mezclador superior, obteniéndose a su salida la señal en cuadratura Q. Las señales I y Q pasan por sendos filtros de banda (LPF) para eliminar las frecuencias no deseadas que aparecen en los procesos de mezclado de las señales, filtrando la señal deseada, y a continuación, son muestreadas (a la frecuencia de muestreo f_s) y digitalizadas individualmente en sendos conversores analógico-digitales (A/D) para obtener las señales I y Q digitalizadas (I_t , Q_t , discontinuas en el tiempo).

El esquema empleado por Gerald (AC5OG) en su equipo SDR para obtener las señales I y Q es el llamado DETECTOR POR MUESTREO EN CUADRATURA (QSD). Gerald se inspiró en un detector patentado por Dan Tayloe (N7VE, radioaficionado y técnico que trabaja para Motorola), que es un elegante detector por muestreo que toma muestras de la señal de RF cuatro veces por ciclo de su portadora, dando lugar a cuatro salidas de la señal de RF con desfases respectivos de 0, 90, 180 y 270 grados. Y al tratarse de un circuito muestreador y no de un mezclador, se obtienen las señales I y Q, pero sin las pérdidas y otras problemáticas propias de los mezcladores. Dicho detector se conoce también como "DETECTOR TAYLOE" (en honor a su desarrollador). Veamos su funcionamiento.

- Imaginemos un conmutador rotativo conectado al circuito de entrada o de antena, (FIGURA 3) de cuatro posiciones, que gira a la frecuencia de portadora (F_c) de la señal de RF que queremos detectar. En cada contacto hay un pequeño condensador a masa. Durante el giro del conmutador, cada contacto, al ser "tocado" por el conmutador, recibirá la tensión de la señal de RF entrante, durante exactamente un cuarto de ciclo de portadora. El nivel de tensión de RF presente en la entrada del conmutador es aplicado al condensador, el cual quedará cargado con un valor de tensión promediado entre los valores de la tensión de la señal de RF entrante en ese cuarto de ciclo de la portadora. El condensador mantiene esta tensión de carga un cierto tiempo, y un ciclo de portadora después el conmutador volverá a tocar el mismo contacto y se repetirá el mismo proceso. Las tensiones adquiridas así por cada condensador, al ser integradas (promediadas) a lo largo de las sucesivas muestras, dan lugar a una señal audio en bornes de cada condensador.

El proceso es una especie de conversión directa, donde el audio se obtiene en cada contacto del conmutador rotatorio por detección síncrona en un punto determinado de la fase del ciclo de la señal de entrada: en C1, a 0 grados; en C2, a 90 grados; en C3, a 180 grados; y en C4, a 270 grados. Esto es totalmente correcto si la frecuencia de giro del rotor es exactamente igual a la frecuencia de RF entrante.

Se obtienen así cuatro señales de audio con distintos desfases en las salidas del conmutador rotatorio. A partir de estas cuatro señales se obtienen las señales I y Q necesarias para realizar la demodulación mediante SDR. Las señales con desfases de 0 y 180 grados se aplican en las dos entradas de un amplificador operacional, obteniéndose en su salida la componente en fase I, mientras que las señales con desfases de 90 y 270 grados se aplican a las entradas de otro amplificador operacional, obteniéndose en su salida la componente en cuadratura Q.

Si la frecuencia de la señal entrante difiere de la frecuencia de rotación del conmutador, la suma de las fases invertidas que generan las señales I y Q será menor a medida que la diferencia de frecuencias sea mayor (pues la detección de la señal entrante ya no es síncrona en fase), y las frecuencias de audio obtenidas dependerán de dicha diferencia de frecuencias.

- Las señales obtenidas en las detecciones síncronas son filtradas por la red RC de pasobajo que conforman la impedancia de la antena (R_{ant}) y el condensador de muestreo (C) de cada punto del conmutador rotatorio, con lo que el ancho de banda BW de las señales de audio obtenidas en cada punto del conmutador será:
- Es obvio que los cuatro condensadores de muestreo del detector Tayloe deberán ser exactamente iguales para obtener las mejores características de este tipo de detector.

El detector Tayloe opera similarmente a un filtro de conmutación digital, y ello significa que opera como un filtro seguidor de muy alto Q. El ancho de banda de la señal que entrega a su salida depende del número total de condensadores de muestreo, 4 en total (uno por posición del conmutador rotatorio), por lo que el ancho de banda de la señal de salida será:

- y el Q del detector (que determinará la selectividad del receptor) será:
- siendo f_c la frecuencia central de entrada.

El detector por muestreo en cuadratura (QSD) así definido es un detector lineal con una salida de audio de cuatro fases, que se emplean para generar las componentes I y Q. Cuando las fases son sumadas dos a dos para obtener las componentes I y Q, al ser sumadas diferencialmente en un amplificador operacional de alta impedancia de entrada, el detector QSD entrega las señales I y Q con una ganancia de conversión de tensión de 6 dB y prácticamente libre de ruido de conversión.

- Lo interesante del circuito detector Tayloe o QSD es su rechazo a señales de frecuencias diferentes a la de rotación del conmutador. Aunque éstas también son convertidas en muestras de audio de baja frecuencia, aparecerán en la banda de audio desplazadas de frecuencia respecto a las señales útiles. Esto permite que mediante un buen filtrado de las señales de audio se puedan eliminar las señales no deseadas, y obtener una buena selectividad.

El detector de Tayloe es elegante, con muy buenas características, y puede ser realizado uno completamente (sin el oscilador local) con tres o cuatro circuitos integrados comerciales adecuados. La FIGURA 4 muestra un ejemplo de detector Tayloe realizado con pocos circuitos integrados. Este consiste en un demultiplexor FET 1:4 tipo PI5V331, que realiza la función de conmutador rotatorio de la señal de antena sobre los cuatro condensadores de muestreo. Dos chips flip-flops duales tipo 74AC74 están conectados como divisor por cuatro tipo Johnson, el cual genera a partir de una señal de reloj (generada por el oscilador local) las dos señales de reloj desfasadas 90 grados que gobiernan el conmutador rotatorio PI5V331. Las salidas de este conmutador, conectadas a los respectivos condensadores de muestreo, son llevadas a las entradas de un par de amplificadores operacionales de instrumentación, de muy bajo ruido, tipo LT1115, para formar por suma diferencial de fases las señales I y Q, las cuales serán llevadas a alguna entrada analógica de la tarjeta de sonido para su digitalización.

Dado que la impedancia de antena R_{ant} es conectada el 25 % de cada ciclo de rotación del conmutador rotatorio a alguna entrada de los amplificadores operacionales, será la resistencia de entrada de ambos amplificadores operacionales, por lo que si R_f es la resistencia de realimentación de cada amplificador operacional, la ganancia de éstos será:

- Lo interesante del circuito detector Tayloe o QSD es su rechazo a señales de frecuencias diferentes a la de rotación del conmutador. Aunque éstas también son convertidas en muestras de audio de baja frecuencia, aparecerán en la banda de audio desplazadas de frecuencia respecto a las señales útiles. Esto permite que mediante un buen filtrado de las señales de audio se puedan eliminar las señales no deseadas, y obtener una buena selectividad.

El detector de Tayloe es elegante, con muy buenas características, y puede ser realizado uno completamente (sin el oscilador local) con tres o cuatro circuitos integrados comerciales adecuados. La FIGURA 4 muestra un ejemplo de detector Tayloe realizado con pocos circuitos integrados. Este consiste en un demultiplexor FET 1:4 tipo PI5V331, que realiza la función de conmutador rotatorio de la señal de antena sobre los cuatro condensadores de muestreo. Dos chips flip-flops duales tipo 74AC74 están conectados como divisor por cuatro tipo Johnson, el cual genera a partir de una señal de reloj (generada por el oscilador local) las dos señales de reloj desfasadas 90 grados que gobiernan el conmutador rotatorio PI5V331. Las salidas de este conmutador, conectadas a los respectivos condensadores de muestreo, son llevadas a las entradas de un par de amplificadores operacionales de instrumentación, de muy bajo ruido, tipo LT1115, para formar por suma diferencial de fases las señales I y Q, las cuales serán llevadas a alguna entrada analógica de la tarjeta de sonido para su digitalización.

Dado que la impedancia de antena R_{ant} es conectada el 25 % de cada ciclo de rotación del conmutador rotatorio a alguna entrada de los amplificadores operacionales, será la resistencia de entrada de ambos amplificadores operacionales, por lo que si R_f es la resistencia de realimentación de cada amplificador operacional, la ganancia de éstos será:

- Como en caso de antenas resonantes típicamente $R_{ant} = 50$ ohmios, entonces $G = R_f / 200$.

Dado que la impedancia de la antena puede variar significativamente sobre un gran margen de frecuencias, se usan amplificadores operacionales de instrumentación (de alta impedancia de entrada) para minimizar las variaciones de ganancia de éstos con la impedancia de antena.

• LA DEMODULACIÓN

- Hasta ahora hemos descrito cómo se traslada la señal de RF a frecuencias de audio (es decir, a BANDA BASE), y la generación de las componentes I y Q; falta todavía filtrar y demodular las señales, además de otros procesados en audio que se deseen. Ello se realiza digitalmente, por lo que hay que digitalizar las señales I y Q y luego procesarlas digitalmente. Por ello el diseño de AC50G emplea una tarjeta de sonido común para digitalizar las señales I y Q y para proporcionar todas las funciones del receptor, sacando partido a la potencia del DSP implementado en la tarjeta de sonido y usando el software adecuado.

Sin emplear más que los programas adecuados, casi todas las tarjetas de sonido pueden ser programadas para actuar como un CAG, demodular una señal, eliminar señales no deseadas (como en los equipos más caros con DSP), reducir el ruido (NB), silenciar (squelch),... absolutamente todo lo que puedan hacer los equipos de radio, mas algunas cosas de las que éstos son incapaces; y todo ello en el ordenador. Desafortunadamente, los detalles de cómo se hace todo eso son demasiado extensos para describirlos aquí. Los mismos principios rigen en el otro sentido en transmisión, desde el micrófono que capta la voz hasta la señal enviada hacia la antena.

Sólo como ejemplo, se expondrán los principios de la demodulación en un receptor de este tipo, uno de los procesos básicos de cualquier receptor.

Cuando tenemos una señal modulada en amplitud (AM), lo único importante de la señal es la amplitud de la envolvente de la señal de RF (no la amplitud instantánea de la onda, sólo la de pico o cresta de cada semiciclo de la onda). Un detector de AM a diodo simplemente responde a la amplitud de la envolvente, que es la señal moduladora de BF que interesa obtener.

En un receptor que maneje señales I y Q, , al estar ambas desfasadas 90 grados entre sí, si se representan vectorialmente sus amplitudes y fases en un gráfico de ejes de abcisas y ordenadas (x,y), la representación será del siguiente tipo (diagrama de fases en el plano complejo):

- donde la longitud de los vectores I y Q representan las amplitudes de dichas señales. En este tipo de diagramas vectoriales, los ángulos de fase se giran en sentido antihorario. Con este tipo de diagramas, el conjunto de las dos componentes I y Q se puede representar por un único vector resultante R, con un ángulo de fase β . Dado que las componentes I y Q de este diagrama son "ortonormales", esto es, perpendiculares entre sí (desfasadas 90 grados entre sí), el valor de la amplitud instantánea del vector R se calcula fácilmente por el teorema de Pitágoras, ya que R es la hipotenusa del triángulo recto formado por I y Q como lados catetos:
- Las señales I y Q representan a la envolvente de la señal de antena, por lo el conocimiento del valor de la amplitud de cualquiera de ellas a lo largo del tiempo indica cómo es la forma de la envolvente y por tanto de la señal moduladora, y por tanto establece la demodulación de amplitud. Pero como la señal Q sigue las mismas variaciones de amplitud que la señal I, basta conocer cómo varía el valor de amplitud del vector R a lo largo del tiempo para conocer la forma de la envolvente de la señal de RF de antena, y por tanto demodular en amplitud ésta, y además demodulándola con ganancia, ya que el valor de amplitud del vector R será siempre igual o mayor al del vector I.

Sin embargo, en las modulaciones de fase, como son la FM (modulación de frecuencia) o la PM (modulación de fase), en la modulación el ángulo de fase de la portadora varía con la amplitud de la señal moduladora (y en el caso de la FM ello conduce a la apariencia que la frecuencia de la portadora varía con la amplitud de la señal moduladora), y por ello la demodulación depende de las variaciones de la fase instantánea de la señal de RF. Esto a nivel de las señales I y Q implica que las amplitudes de estas dos componentes no varían de la misma forma en cada instante, y por tanto el ángulo de fase β del vector R variará con el tiempo. De cómo varía este ángulo de fase dependerá la forma de la señal moduladora, y por tanto, el conocimiento del valor de este ángulo de fase con el tiempo permite la demodulación en fase o en frecuencia. Si conocemos las amplitudes instantáneas de las componentes I y Q, el ángulo de fase β se puede deducir mediante la siguiente expresión: $\beta = \text{Arctang}(Q / I)$

- donde la función arcotangente es la función trigonométrica inversa a la función tangente de un ángulo.

El detector de Tayloe entrega las señales I y Q a nivel analógico. Estas son entregadas a la tarjeta de sonido, la cual en un primer paso las muestrea y las digitaliza. Al digitalizar las señales I y Q, se obtienen una sucesión de conjuntos de bits discretos en el tiempo, que codifican numéricamente el valor de amplitud de ambas señales. Es decir, la digitalización de las señales I y Q da lugar a una sucesión de números binarios que indican las amplitudes instantáneas de ambas señales a intervalos regulares en el tiempo. Y como números que son, ya pueden ser manejados matemáticamente, por lo que ya se pueden aplicar las fórmulas anteriores para conocer los valores del vector R y de su ángulo de fase β , que permitirán conocer los valores de amplitud de la envolvente, en el caso de las modulaciones de AM, y de los desplazamientos de fase y frecuencia de la señal recibida, en el caso de las modulaciones FM y PM. Es decir, el cálculo numérico permite la demodulación de las señales de RF moduladas en AM, FM y PM. Los resultados de estos procesos matemáticos son también valores binarios, que al ser aplicados a un conversor digital-analógico (incluido en la tarjeta de sonido), permite obtener la señal moduladora ya a nivel analógico, la cual una vez amplificada es llevada al altavoz conectado a la tarjeta de sonido.

Para el caso de las modulaciones de banda lateral única (SSB), el proceso es algo más complicado, ya que el cálculo numérico sobre los valores digitales de las componentes I y Q requiere de más pasos de cálculo que para la AM y la FM, pero conociendo las expresiones matemáticas que se han de aplicar para determinar la forma de la señal moduladora a partir de los valores de amplitud de R y del ángulo de fase β , tampoco es mucho problema realizar la demodulación de SSB. Y lo mismo se puede decir para cualquier otro tipo de modulación que se haya aplicado a la señal recibida en antena para poder demodularla. Por ello, dado que en los receptores SDR hay muy poco procesamiento analógico de la señal, el método de conversión de frecuencia y detección empleado, y la posibilidad de gobernar muchos parámetros, es de esperar que un equipo de estas características superará las prestaciones de los mejores transceptores disponibles hoy en día.

• LAS TRANSFORMADAS RÁPIDAS DE FOURIER (FFT)

- Una de las herramientas más potentes de los dispositivos DSP es el uso de las Transformadas Rápidas de Fourier, FFT (Fast Fourier Transform), una herramienta matemática que permite realizar muy diversos tratamientos de las señales digitalizadas (filtrados, demodulaciones, ecualizaciones, etc...), y que se emplea por ello en los receptores SDR para el tratamiento de las señales I y Q entregadas por el hardware del equipo SDR. En éste tipo de receptor se emplean las FFT y su función inversa, IFFT (Transformada Rápida de Fourier inversa) para las funciones de modulación y demodulación en banda lateral única (SSB) y para funciones de filtrado de señales.

Matemáticamente lo que hace una FFT es transformar señales en el DOMINIO DEL TIEMPO a señales equivalentes en el DOMINIO DE LA FRECUENCIA, esto es, dada una señal cuya forma de onda es conocida a lo largo del tiempo (dominio del tiempo), es analizada para conocer su composición espectral, esto es, para conocer el conjunto de frecuencias que las componen y sus amplitudes respectivas (dominio de la frecuencia). Cualquier señal está compuesta por una o más componentes de distintas frecuencias, y los análisis matemáticos de Fourier permiten deducir las distintas frecuencias y sus amplitudes que componen una señal cualquiera en función de la forma de la onda de la señal. Así, una señal senoidal pura está constituida por una única frecuencia (tono puro), mientras que si la forma de la onda senoidal se distorsiona, aparecen junto con la frecuencia fundamental f otras frecuencias adicionales, como pueden ser frecuencias armónicas de la fundamental ($2f$, $3f$, $4f$,...), bandas laterales junto a la frecuencia fundamental, frecuencias aleatorias que representan al ruido, etc..., todo ello dependiendo de la forma de onda de la señal.

La forma de la onda de la señal en el tiempo es conocida, ya que se deduce de los sucesivos valores de amplitud de ésta en el tiempo, y dado que al ser digitalizada la señal los valores de amplitud se codifican en valores numéricos binarios a intervalos de tiempo regulares, se pueden aplicar a estos las fórmulas matemáticas de Fourier para conocer la composición espectral de la señal analógica original.

- El resultado de analizar una señal mediante la FFT equivale a hacer pasar la señal analógica original a través de un banco de filtros de paso de banda muy estrechos en paralelo que cubren toda la banda de paso, y obtener a la salida de estos filtros por separado las distintas componentes espectrales de la señal. Los distintos filtros tienen el mismo ancho de banda. Todo este proceso se realiza digitalmente.

A cada filtro de paso de banda muy estrecho se denomina "BIN", y en realidad la banda de paso de cada bin se solapa algo con la del bin anterior y posterior, tal como se muestra en la FIGURA 5, donde se muestran los BINs solapados. Si el solapamiento entre bins consecutivos es en puntos a -3 dB, la respuesta de la FFT es lineal.

Al realizar la FFT de una señal se obtiene la composición espectral de la señal. Si una componente espectral está en el centro de uno de los bins, se tomará solamente el valor de amplitud de señal en ese bin. Pero si no coincide con el centro del bin, se asigna parte de la amplitud de la componente al bin donde está ubicada, y algo de amplitud en el bin vecino más próximo. Así, si la componente espectral está justamente ubicada en el punto medio entre los centros de dos bins consecutivos, se asignará la mitad de la amplitud de la componente espectral a cada uno de los dos bins.

El análisis matemático de las FFT analiza la composición espectral de una señal cualquiera, y además determina cómo se reparte la energía (amplitud) de cada componente (frecuencia) de la señal en los distintos bins, de acuerdo a lo explicado en el párrafo anterior. La FIGURA 6 muestra un ejemplo de análisis espectral mediante FFT de 4096 bins de una señal modulada en AM, donde se aprecia la frecuencia portadora f_c y las bandas laterales (USB, LSB) a ambos lados de ésta.

- Cuando se manejan las señales I y Q procedentes de un detector de cuadratura (o un detector Tayloe), se puede aplicar en la FFT las conocidas expresiones
- para conocer la amplitud y fase de la señal dentro de cada bin.

Si en una FFT se emplean N bins (N es el "tamaño" de la FFT), y la señal está digitalizada con una frecuencia de muestreo f_s , el ancho de banda de cada bin, BW_{bin} , será:

- y la frecuencia central f_n del bin número n será:
- Dado que los equipos de radio SDR se basan en el uso de tarjetas de sonido, si asumimos que la velocidad de muestreo del digitalizador de la tarjeta de sonido normalmente es de 44,1 KHz (44100 muestras por segundo), si se emplea una FFT de 4096 bins, se tendrá que:
- es decir, la FFT introduce en el equipo de radio SDR 4096 filtros de paso de banda de casi 11 Hz de ancho de banda. Esto permite crear filtros digitales de señal con anchos de banda desde 11 Hz hasta aproximadamente 40 KHz, en pasos de casi 11 Hz.

- Al tener descompuesta la señal I+Q original en sus componentes espectrales mediante FFT, podemos actuar sobre los distintos bins para amplificar o atenuar las distintas componentes espectrales (multiplicando el valor binario de las muestras digitales de las señales por un valor fijo) en función de su frecuencia, o realizar otras manipulaciones, por lo que mediante el software adecuado se pueden construir diversas funciones que operan en el dominio de la frecuencia tales como las siguientes:
 - **Filtros de banda:** Se tomará sólo las señales contenidas en determinados bins, omitiendo la información contenida en el resto de bins. Según el número de bins consecutivos tomados, el filtro será más ancho o más estrecho de banda.
 - **Conversión de frecuencia** (se traslada el contenido de uno o varios bins a otros bins: Hacemos conversiones de frecuencias).
 - **Demodulación de telegrafía (CW) y banda lateral única (SSB)** (en la SSB, basta determinar en que bin estaría situada la portadora suprimida en el proceso de modulación de SSB, según se trate de USB o LSB , y entonces los bins vecinos se corresponderán con la señal moduladora).

- - **Selección de banda lateral:** útil para moduladores de SSB en transmisores de radio SDR: Conocido el espectro de la señal de AM, es fácil filtrar la banda lateral deseada tomando sólo la información contenida en los bins situados al lado adecuado del bin que contiene la frecuencia portadora.
- **Filtros de ruido, filtros de muesca, etc...**
- **Squelch selectivo de frecuencia.**
- **Ecualizadores gráficos** (o control de tono, se realizan permitiendo asignar amplificaciones o atenuaciones ajustables a los distintos bins).
- **Otros procesos de modulación y demodulación** (RTTY, PSK31, etc...).

Una vez la señal ha sido completamente procesada en el dominio de la frecuencia, es fácil convertirla de nuevo al dominio del tiempo, es decir, a una única señal equivalente definida como sucesión de valores de amplitud en el tiempo. Para ello se usa la operación matemática conocida como "Inversa de la Transformada rápida de Fourier", IFFT (inverse FFT). Con la señal ya procesada y devuelta al dominio del tiempo, pueden realizarse algunas funciones adicionales en un receptor SDR, tales como la función de Control automático de ganancia (AGC), que se basará en la lectura de los valores de pico (máximos) de la señal a lo largo del tiempo, para controlar un amplificador o atenuador digital de ganancia variable que maneja la señal.

Finalmente la señal puede ser llevada a un conversor digital-analógico (D/A) para convertirla a señal analógica, ser amplificada y enviada a un altavoz para su escucha.

- **EL TRANSECTOR SDR-1000**

- El equipo desarrollado por Gerald, AC5OG, es un transceptor denominado [SDR-1000](#), de arquitectura SDR, y ha sido desarrollado en los primeros años de la década de los 2000's. La parte física de este equipo consta de tres placas de circuito impreso apiladas una encima de las otras (ver FIGURA 7), cuyas funciones son:

- La primera placa incorpora el generador de frecuencias mediante síntesis digital directa (DDS), un oscilador maestro a cristal de alta calidad, un mezclador bidireccional I & Q, el detector de muestreo por cuadratura QSD, un control automático de ganancia AGC, y jacks de audio para la conexión a la tarjeta de sonido. El módulo sintetizador usa una frecuencia de reloj de 200 MHz, tiene una resolución de 1 microhertzio, y un ruido de fase (jitter) de 1 picosegundo rms máximo.
- Otra placa incorpora la parte de alimentación (generación de +- 15 V y +5 V, a partir de +12 V de alimentación general), los interfaces de conexión al ordenador (interface de puerto paralelo con un conector D de 25 pines), las memorias de registro (latches) para las señales de entrada y salida (I/O) a través de las cuales el ordenador controla el generador de frecuencias DDS de la primera placa), y los relés de conmutación TX/RX.
- La tercera placa incorpora los filtros de banda de antena (filtros LC convencionales, conmutados mediante relés), el amplificador de potencia de 1 W en transmisión, y un conector BNC para la conexión de la antena o de un amplificador de potencia exterior.

- Este equipo es capaz de cubrir en recepción desde 12 Khz a 65 Mhz, en cobertura continua, y en transmisión sólo dentro de todas las bandas de radioaficionados de 160 a 6 metros, todo ello en sus primeras versiones.

Su oscilador de síntesis digital directa DDS es capaz de cubrir ese margen de frecuencias en pasos de 1 Hz, y está basado en el chip AD9854, controlado a través de un microcontrolador PIC desde el software SRD del ordenador. Genera una frecuencia 4 veces mayor a la requerida por el mezclador QSD o Tayloe, y es dividida por 4 por un contador Johnson para generar las dos frecuencias de mezcla para el detector, desfasadas 90 grados.

Un mezclador bidireccional maneja las señales I y Q tanto para la recepción como para la transmisión. Y en el caso de la recepción, las señales I y Q pasan por un circuito de control automático de ganancia (AGC) cuya función es prevenir que la recepción de una señal fuerte pueda sobrecargar la entrada del conversor A/D de la tarjeta de sonido.

Las funciones de modulación y demodulación en AM, FM, SSB, RTTY, PSK (y otros modos que se deseen implementar), filtrado DSP y supresión de ruidos, AGC, control de frecuencia (control del DSS), etc..., están implementadas en el software SRD cargado en el ordenador.

Para evitar los inconvenientes de la conversión de las señales de entrada de antena directamente a banda base de BF (nivel de ruido mayor en frecuencias próximas a 0 Hz, típico de las conversiones directas), el receptor SDR no hace una conversión de frecuencia directa a banda base de 0 Hz, sino que hace una conversión a banda base de 11,025 KHz. Es decir, la frecuencia del oscilador local controlado por DDS aplicada al detector Tayloe ha de estar desplazada en 11025 Hz respecto a la señal sintonizada. Ello ayuda a reducir el efecto de los ruidos de fase de la señal generada por el oscilador-generador de frecuencias, y los ruidos próximos a 0 Hz. Una vez que la señal en banda base de 11025 Hz es digitalizada, es fácil usando el software adecuado pasarla a banda base de 0 Hz, antes de continuar con el resto de procesos de tratamiento digital de la señal (filtrados de ruidos, demodulación, etc...).

- La FIGURA 8 muestra el esquema en bloques de la parte física o hardware del receptor SDR-1000, mientras que la FIGURA 9 muestra la arquitectura software básica del receptor, esto es, el tratamiento digital de las señales I y Q en el ordenador con los softwares adecuados para obtener la señal de baja frecuencia final, que se llevará al altavoz conectado a la tarjeta de sonido.

La arquitectura software básica del receptor consiste en lo siguiente: Las señales I y Q presentes en la entrada de la tarjeta de sonido son muestreadas, digitalizadas y sometidas a un proceso de Transformada Rápida de Fourier FFT complejo de 4096 bins, por lo que son convertidas al dominio de frecuencias. Un generador calcula unos coeficientes de filtro pasabanda (BPS) y mediante otro proceso FFT son convertidos también al dominio de frecuencias. Ambas señales, en el dominio de frecuencias (señal útil y señal de filtrado) son multiplicadas digitalmente (mediante una función de mezcla digital) para proporcionar el ancho de banda del filtrado máximo de la señal útil y procesarla adecuadamente, por ejemplo para demodularla. La señal filtrada es procesada a continuación por una transformada rápida inversa de Fourier IFFT para convertirla de nuevo al dominio del tiempo. Y ya en este dominio, la señal es sometida a procesos de filtrado adaptativo de ruido (LMS noise), filtro de muesca (Notch filter), y control automático de ganancia (AGC) basado en la detección de los valores de pico de la señal. La señal resultante de todo estos procesos es la señal ya demodulada y filtrada, que llevada al conversor D/A de la tarjeta de sonido, es convertida a señal analógica para su amplificación y salida a altavoz.

Los requisitos mínimos de ordenador que requiere este equipo son un PC de 600 MHz o más rápido, dotado de tarjeta de sonido compatible SoundBlaster, y con sistema operativo Windows 95 o superior (versiones posteriores del software pueden ser desarrolladas para otras plataformas informáticas).

El software SDR original desarrollado por Gerald incluye muchas otras prestaciones adicionales. Es un software de "código abierto" (está publicado todo su código de programa, escrito en Visual Basic), por lo que está abierto a que cualquier usuario con conocimientos de programación pueda modificarlo para mejorar aspectos de éste o introducir nuevos modos y nuevas prestaciones.

- Como ejemplos de características adicionales del software SDR original están las siguientes:
 - inclusión de un conjunto de filtros DSP de distintas características para supresión de ruidos (distintos anchos de banda), y seleccionables, que dan varios valores de selectividad al receptor: 6, 4, 2.6, 2.1, 1.0 Khz, 500, 250, 100 y 50 Hz.
 - un analizador gráfico de espectro de la señal recibida por la tarjeta de sonido,
 - tres sistemas de sintonía distintos (mediante tecleado del valor numérico de la frecuencia, mediante un mando de sintonía, o a través del analizador gráfico de espectro seleccionando con el ratón la señal deseada)
 - control de ganancia de audio,
 - smetter en modo numérico y en modo gráfico,
 - selección de tipo de control automático de ganancia, ajustando su constante de tiempo entre cuatro valores (CAG largo, rápido, medio o lento). El CAG también es manejado de forma totalmente digital (hay un CAG externo implementado en el hardware del receptor, pero su función es proteger la entrada del conversor A/D de la tarjeta de sonido frente a señales fuertes).
 - memorias para almacenar diversas condiciones de operación en las distintas bandas (anchos de banda de los filtros, tipo de CAG, etc...). Permite almacenar hasta cuatro configuraciones por cada banda de trabajo, seleccionables mediante clics del ratón.
 - Un reloj en tiempo real (en hora local y hora UTC), que toma la hora de la hora del reloj del ordenador. Si está bien sincronizado con alguna referencia horaria exacta externa (a través de Internet, o mediante alguna emisora patrón de frecuencia y horaria como la DCF77 en VLF), esto lo hace especialmente útil para el uso de modos digitales que requieren sincronizaciones de tiempo para establecer los turnos de emisión y de recepción.
 - Control de la memoria reservada para el uso de la telegrafía, que permite enviar de forma automática un texto como baliza telegráfica,
 - Posibilidad de controlar dos transverters, y de operación en modo "split". Ello está pensado a nivel del hardware mediante el uso de dos VCO, y de las funciones adecuadas en el hardware de control.
 - y bastante más cosas...

- El desarrollo de los softwares DSP que constituyen el software de los equipos de radio DSR es relativamente sencillo para cualquier programador, ya que Intel tiene publicado y disponible un conjunto de librerías software para las funciones DSP, lo que facilita el desarrollo de programas para ordenador destinados a dispositivos DSP, como son las tarjetas de sonido.

Este equipo goza de muy buena selectividad, y una sensibilidad de recepción buena, aunque no equiparable a la de un receptor de alta gama (puede ser necesario añadir un preamplificador de antena para mejorar este aspecto).

Este equipo es comercializado por FlexRadio System (www.flex-radio.com), empresa de Austin (Texas).

Para los interesados, la arquitectura de los equipos SDR está escrita por Gerald Youngblood, AC5OG, en diversos números de la publicación QEX del año 2002 (QEX es una publicación regular de la ARRL, www.arrl.org/qex/).

Fuentes:

Revista CQ RadioAmateur, Edición española, nº 243 (marzo 2004)

Documento "Software defined Radio modèle SDR-1000, de Luc Favre (F6HJO-HB9ABB) ([http://www.flex-radio.com/articles_files/Technik SDR-1000-franz.pdf](http://www.flex-radio.com/articles_files/Technik%20SDR-1000-franz.pdf))

Documento "A software-Defined Radio for the masses, part 1", de Gerald Youngglood (AC5OG) (www.flex-radio.com/articles_files/SDRFMP1.pdf)

Fernando Fernández de Villegas, **EB3EMD**

Junio 2004

